

加热非燃烧状态下烟草制品的 TSNA_s 释放规律

周慧明¹, 华青², 刘广超¹, 安彤², 张怡春¹, 刘鸿², 张玮², 王天南², 郑赛晶^{1*}

(1. 上海新型烟草制品研究院, 上海 200082; 2. 上海烟草集团有限责任公司, 上海 200082)

摘要: 为了解加热非燃烧烟草制品加热时 TSNA_s 的释放情况, 以烟草薄片颗粒 (RTPs) 为原料, 研究甘油含量、加热温度等对 TSNA_s 释放的影响, 并探究了其中 NNN 与 NNK 释放之间的关系。NNK 和 NNN 释放量随加热温度升高而增加, 达到 240 °C 之后增量变小; NAB 的释放量随温度升高不断上升; NAT 的释放量先随温度升高而增加, 达到 240 °C 后基本稳定。同时, 原料中添加甘油会不同程度地减少 TSNA_s 的释放量。因此, 烟草薄片颗粒中的甘油含量、加热温度显著影响 TSNA_s 释放行为, 合理的甘油含量和低温加热均可有效减少 TSNA_s 的释放。原料中添加 NNN 后, NNK 的释放量显著增加, 推测原料中 NNN 含量增加可能促进气溶胶中 NNK 的释放。

关键词: 烟草; 烟草特有亚硝胺; TSNA_s; 加热; 释放

中图分类号: TS41+1

文章编号: 1007-5119 (2019) 01-0082-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2019.01.011

TSNA_s Release of Heat-Not-Burn Tobacco Materials

ZHOU Huiming¹, HUA Qing², LIU Guangchao¹, AN Tong², ZHANG Yichun¹, LIU Hong²,
ZHANG Wei², WANG Tiannan², ZHENG Saijing^{1*}

(1. Shanghai New Tobacco Product Research Institute, Shanghai 200082, China; 2. Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: In this work, the tobacco-specific nitrosamines (TSNA_s) release behavior of reconstituted tobacco particles (RTPs) for heat-not-burn product (HNB) when heated has been investigated, and some influence factors, such as the glycerin content of tobacco material and the heating temperature, have been studied. Besides, the relationship between the release of NNN and NNK has been explored. NNK and NNN release amounts increased with heating temperature, and when the temperature reached 240 °C, the increment decreased; NAB release amount increased with the increase of temperature; NAT release amount increased with the increase of temperature first, and became stable after the temperature reached 240 °C. Meanwhile, the addition of glycerin to RTPs can reduce the release of TSNA_s to varying degrees. Hence, glycerin content of RTPs and the heating temperature have both been shown to considerably influence the release values of TSNA_s, while appropriate glycerin content and relatively low heating temperature could reduce the release of TSNA_s efficiently. Besides, when NNN was added to RTPs, NNK release amount increased significantly, so it could be conjectured that the increase of NNN content in RTPs may promote the release of NNK in aerosol.

Keywords: tobacco; tobacco-specific nitrosamines; TSNA_s; heated; release

加热非燃烧烟草制品 (HNB) 将烟草原料加热而非直接燃烧, 产生可吸入气溶胶。因其无需高温燃烧烟草, 仅在相对低温下对烟草原料进行加热, 减少了烟草高温燃烧裂解产生的有害成分, 侧流烟气和环境烟气也大幅降低, 因此有望成为一种既能给用户 提供烟草抽吸的满足感、又可降低有害和潜

在有害成分 (HPHC) 释放和吸入的产品, 故而成为了当下的研究热点^[1-3]。

烟草制品自身和烟气成分中含有多种 HPHC, 因此, 有效地控制和降低其 HPHC 的释放量一直是烟草的重要发展方向和科研热点^[4]。烟草及烟草制品中存在的 N-亚硝胺可以分为 4 类: 挥发性 N-亚

作者简介: 周慧明 (1989-), 女, 博士后, 研究方向: 加热非燃烧卷烟有害成分。E-mail: zhouhm@sh.tobacco.com.cn

*通信作者, E-mail: zhengsj@sh.tobacco.com.cn

收稿日期: 2018-06-11

修回日期: 2018-11-15

硝胺、非挥发性 N-亚硝胺、带亚硝基的氨基酸和烟草特有亚硝胺 (TSNAs), 其中, TSNAs 因其致癌性最受关注。TSNAs 包含去甲基烟碱(NNN)、4-(N-甲基-N-亚硝胺)-1-(3-吡啶基)-丁酮(NNK)、N-亚硝基假木贼碱(NAB)、N-亚硝基新烟草碱(NAT)和 4-(N-甲基-N-亚硝基氨基)-4-(3-吡啶基)-丁醛(NNA)以及 NNK 和 NNA 的衍生物 4-(N-甲基-N-亚硝基氨基)-1-(3-吡啶基)-丁醇(NNAL)和 4-(N-甲基-N-亚硝基氨基)-4-(3-吡啶基)-丁醇(iso-NNAL)等 8 种物质, NNN、NNK、NAB、NAT 为其中主要的 4 种, 是一类广泛存在于烟草制品和烟气中的 HPHC。TSNAs 是一组强致癌物质, 国际癌症研究机构 (IARC) 将具有强动物致癌性的 NNN 和 NNK 两种物质列入一类致癌物, 将 NAT 和 NAB 列入三类致癌物^[5-7]。毋庸置疑, 研究烟草制品和烟气中的 TSNAs 含量和释放规律, 对于正确评价吸烟与健康的关系、推进低危害烟草制品的研究与发展具有重要意义。过去几十年里, 科研人员一直不遗余力地对 TSNAs 的检测方法等进行了大量的研究, 并且取得了许多科研成果^[8-15], 然而这些研究主要是针对传统卷烟。

近年来, 加热非燃烧烟草制品 (HNB) 逐渐成为热点, 作为一种新型烟草制品, HNB 的 HPHC 释放行为值得关注和研究, TSNAs 作为一类关注度较高的有害物质, 目前与之相关的报道并不多见。基于此, 本文对 HNB 烟草原料的 TSNAs 释放行为进行了探究, 采用气相色谱的色谱柱箱提供热源, 吸烟机提供抽吸引擎, 自主设计的石英管模拟 HNB 加热管, 开发了一个模拟 HNB 的加热装置, 对不同甘油比例和加热温度条件下 HNB 烟草原料的 TSNAs 释放行为进行研究, 同时对加热过程中, NNN 和 NNK 的释放关系进行探究。

1 材料与方法

1.1 材料

烟草材料采用烟草薄片颗粒, 购于上海烟草集团有限责任公司, 含水率 7%, 粒径 1~2 mm。甘油

(阿拉丁, 分析纯, 99%), 甲醇 (RCI Labscan, 色谱纯), 乙腈 (TEDIA, 色谱纯), 乙酸铵 (Sigma-Aldrich, 色谱纯), 甲酸铵 (Sigma-Aldrich, 质谱纯), 甲酸 (Sigma-Aldrich, 质谱纯)。标准品: N-亚硝基去甲基烟碱 rac N'-nitrosornicotine (NNN), 纯度 98%; N-亚硝基新烟草碱 (R,S)-N-Nitrosoanatabine (NAT), 纯度 98%; N-亚硝基假木贼碱 (R,S)-N-Nitrosoanabasine (NAB), 纯度 98%; 4-(N-甲基-N-亚硝胺)-1-(3-吡啶基)-丁酮 4-(Methylnitrosoamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK), 纯度 98%; 氘代-N-亚硝基降烟碱 rac N'-Nitrosornicotine-d4(NNN-d4), 纯度 99%; 氘代-N-亚硝基新烟草碱 (R,S)-N-Nitrosoanatabine-2,4,5,6-d4(NAT-d4), 纯度 99%; 氘代-N-亚硝基假木贼碱 (R,S)-N-Nitrosoanabasine-d4(NAB-d4), 纯度 99%; 氘代-4-(甲基亚硝胺基)-1-(3-吡啶基)-1-丁酮 4-(Methylnitrosoamino)-1-(3-pyridyl-d4)-1-butanone (NNK-d4), 纯度 99%; 标准品购自加拿大 TRC 公司。剑桥滤片 (CFPs, Whatman, 直径 44mm), 石英棉 (CNW, GOEQ-003352 硅烷化玻璃棉), 电子天平 (METTLER TOLEDO, CPE205, 感量 0.01mg), Agilent 6890B 气相色谱仪, Milli-Q50 超纯水仪 (美国 MILLIPORE 公司), Agilent1290 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司), AB SCIEX QTRAP 5500 (美国 AB SCIEX 公司), KQ-700DE 型数控超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司, 功率 1000 W)。

自主设计的石英管, 结构如图 1。主体部分两端开口、外径 8 mm、内径 6 mm, 下部侧面连接弯折的外径 6 mm、内径 2 mm 的细管, 细管另外一端连接一段外径 8 mm、内径 6 mm 的石英管。主体管与细管最大直径处为 1.6 cm。主体管内部上端有卡口, 可以固定住填充物, 主体管上方连接捕集器和吸烟机的抽吸引擎。

采用 SM400 20 孔道吸烟机 (英国 Filtrona 公司) 提供抽吸装置。加热源采用安捷伦公司 6890N 气相色谱的色谱柱箱, 尺寸为 28 cm × 31 cm × 16 cm,

使用温度为高于环境温度 4 °C 至 450 °C，温度设置精度为 1 °C，最大升温速率为 120 °C/min，环境敏感度为环境温度变化 1 °C，箱内温度变化 < 0.01 °C。色谱柱箱上方开 3 个直径为 2 cm 的孔，可将石英管顺利地放入和取出，结构如图 2 所示。经测试，改造后的色谱柱箱可以提供温度稳定的热源。

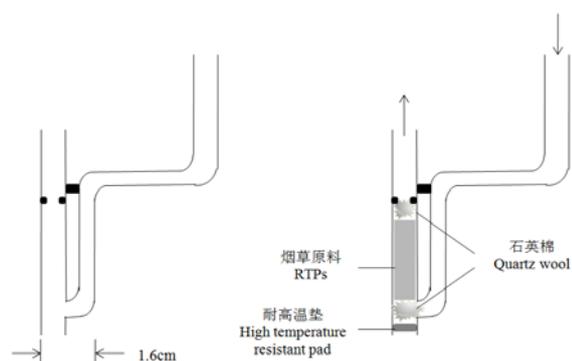


图 1 石英管示意图 (左), 石英管填充示意图 (右)

Fig. 1 Sketches of quartz tube (L) and the quartz tube filled with sample (R)

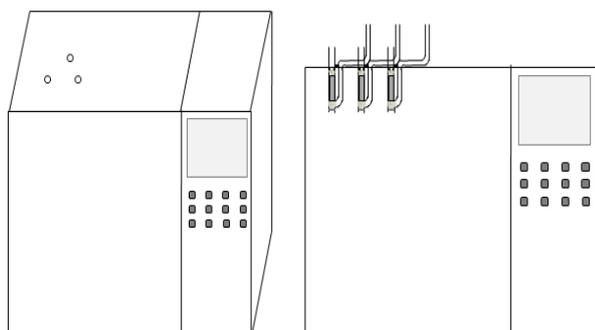


图 2 安捷伦 6890N 气相色谱改造: 俯视图(左), 正视图(右)

Fig. 2 Sketches of the modified Agilent 6890N oven: top view (L), front view (R)

1.2 研究方法

1.2.1 烟草薄片颗粒样品制备 将适量的水与甘油混匀加入到适量的原含水率为 7%、不含甘油的烟草薄片颗粒样品中，搅匀，在恒温恒湿箱中放置 72 h。用该方法制备了含水率 16%、甘油含量 0、10、30% 的样品，依次标记为 A、B、C。向样品 C 中添加 NNN，得到 NNN 为其原含量 10 倍的样品 D。在搅拌过程中，甘油与水会发生少量挥发，因此，采用行业标准 YC/T 243—2008 烟草及烟草制品 1,2-丙二醇、丙三醇的测定气相色谱法和 YC/T 345—2010 烟

草及烟草制品水分的测定气相色谱法测定了样品的甘油含量和含水率，结果如表 1。

表 1 烟草薄片颗粒样品中含水率和甘油含量实测值

Table 1 Water and glycerin contents of the prepared samples %

样品编号 Samples	水 Water	甘油 Glycerin	干重 Dry weight
A	14.29	0	85.71
B	14.78	10.58	74.64
C	15.47	28.89	55.63
D	16.08	28.04	55.88

注: D 样品中 NNN 的含量为 C 样品的 10 倍。Note: NNN content of sample D is 10 times of that of sample C.

1.2.2 烟草薄片颗粒样品热重 (TG) 分析 称取 20~25 mg 烟草薄片颗粒样品置于 Pt 坩锅中，N₂ 吹扫，样品气流速 20 mL/min，平衡气流速 40 mL/min，从 35 °C 升至 500 °C，升温速率为 20 °C/min，在 500 °C 保持 5 min，通过 TG 软件记录数据，得到热重 (TG) 曲线。将 TG 曲线进行一阶求导，得到 DTG 曲线。

1.2.3 样品受热释放的气溶胶中 TSNA_s 捕集方法 向石英管中先填充少量石英棉，加入适量的颗粒样品、末端填入少量石英棉，尾部塞上耐高温的密封垫，如图 1 所示。将气相色谱柱箱的温度设置为目标温度，达到目标温度并稳定 5 min 后，将装有待测样品的石英管放置于箱体上方的孔内，进行加热与抽吸。本实验采用 ISO 4387 抽吸方法，具体参数为：抽吸容量 35 mL，每口抽吸时间 2 s，抽吸间隔 30 s，抽吸 20 口；并进行了 3 组平行试验。

1.2.4 颗粒样品与气溶胶中 TSNA_s 含量测试方法 采用 CORESTA 推荐方法 N° 72 无烟气烟草样品中 TSNA_s 的检测方法。制备的样品 TSNA_s 含量的实测值如下表，所有数值均计以去水去甘油的单位干重的原料对应的含量。

表 2 烟草薄片颗粒样品中 TSNA_s 含量实测值

Table 2 TSNA_s contents of the prepared samples ng/g

样品编号 Samples	NNK	NNN	NAB	NAT
A	83.4	172.7	28.4	333.0
B	85.6	177.5	29.3	324.4
C	85.7	183.9	31.2	309.3
D	86.4	1771.2	29.5	305.1

注：表中数据为扣除水分、甘油的干基烟草薄片颗粒中 TSNA_s 含量。

Note: Data shown in the table are the TSNA_s contents of water and glycerol free dry RTPs materials.

2 结 果

2.1 不同甘油含量的烟草薄片颗粒样品的 TG、DTG 分析

为了获知样品适宜的加热温度区域，首先对样品进行了热重 (TG) 分析。图 3 为 A、B、C 三种样品的热重 (TG) 与相应的微分热重 (DTG) 曲线图。从图 3 中可知，图中曲线的走势与文献[16-18]中类似试验条件下的研究结果一致，在试验温度范围内，随着热解温度的不断上升，样品经历了明显的热失重过程。为了清晰地描述具体现象，根据曲线的波动特征，将 TG、DTG 曲线分成三个区间进行分析，125 °C 之前，125~270 °C，270 °C 之后。从曲线图中可见，在 125 °C 之前，100 °C 附近为水失重峰，样品 A 的水失重峰显著提前于 B、C，样品 B 的水失重峰提前于 C。该现象是由甘油的保润性引起，样品 A 中不含甘油，水分较易释放，C 中甘油含量最高，因而水失重峰出现最晚。当温度达到 125 °C 之后，样品 B、C 的失重峰显著提前于 A，从 DTG 曲线中可见，从 125 °C 至 270 °C，A、B、C 的失重峰峰面积依次增大，这主要是由于样品中甘油的挥发以及随甘油挥发携带的其他化合物的释放引起。在 270 °C 之后，失重峰的最高处位于 300 °C 左右，因此在 270 °C 之后，样品在 300 °C 左右失重速度最快，在 300 °C 下加热可以使样品充分释放气溶胶。当温度达到 300 °C 时，样品 A、B、C 的残余质量分别为 62.34%、48.81%、32.96%，残余质量之间的差异，与样品中甘油含量的实测值之间的差异吻合，因此，残余质量之间的差异主要是由甘油含量的差异引起。由 TG 与 DTG 曲线可知，样品 A、B、C 在 150~300 °C 段发生了显著的热解过程，且许多 HNB 产品将目标加热温度设置在该温度段，因此本文将选择在该温度段探究 TSNA_s 的释放规律。

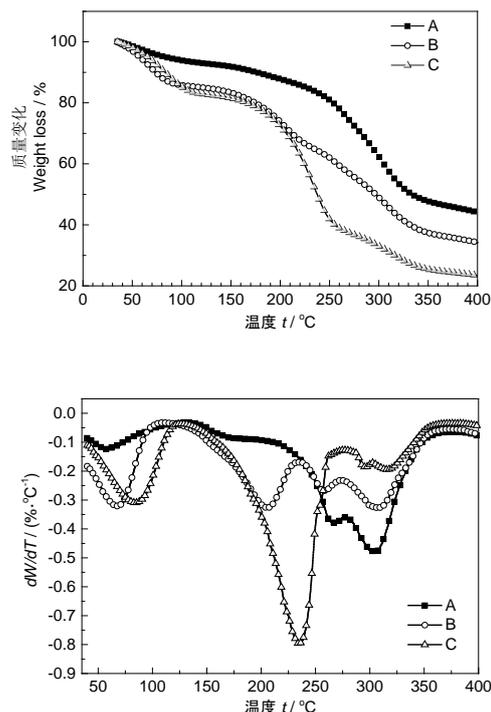
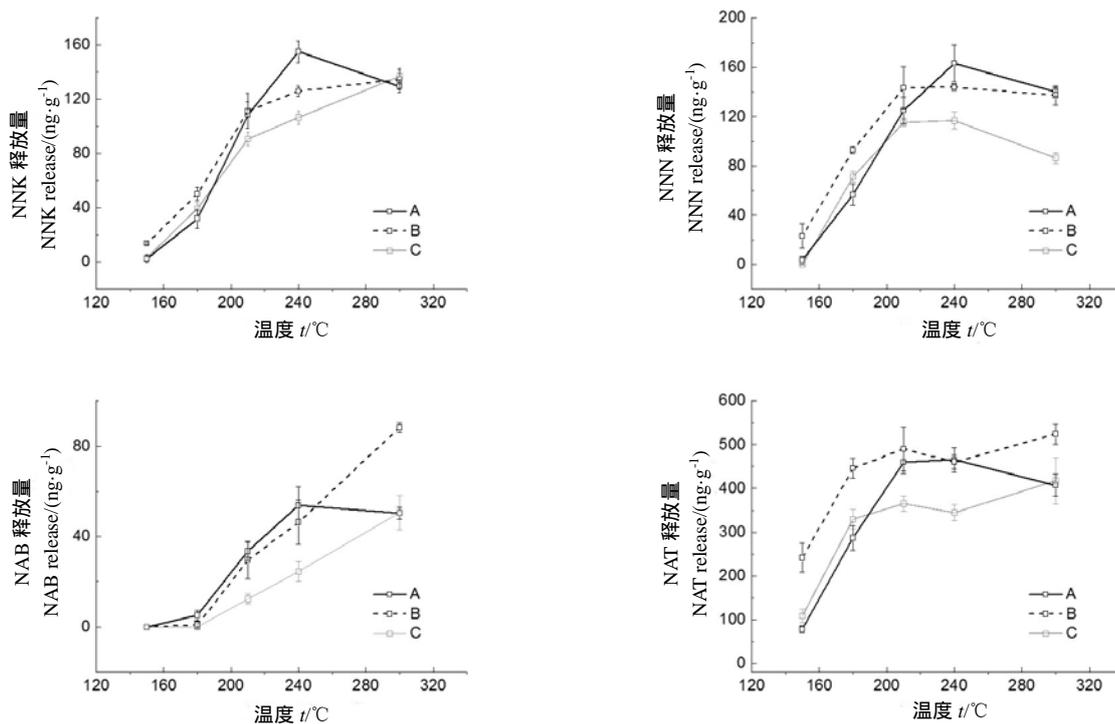


图 3 烟草薄片颗粒样品 A、B、C 的 TG (上) 和 DTG (下) 曲线，样品 A：0%甘油，B：10%甘油，C：30%甘油
Fig. 3 TG (Top) and DTG (Bottom) curves obtained for RTPs samples, glycerin content: A: 0, B: 10%, C: 30%

2.2 烟草薄片颗粒样品 TSNA_s 释放规律

根据 2.1 的分析，本文选择在 150~300 °C 温度段探究 TSNA_s 的释放规律，重点关注加热温度及甘油含量对 TSNA_s 释放行为的影响。图 4 反映了 3 种样品在不同温度加热时 TSNA_s 的释放现象。随着加热温度的上升，NNK 的释放量逐渐增加，达到 240 °C 之后增量变小；NNN 的释放量先随温度升高而增加，超过 240 °C 后稍有减少；NAB 的释放量随温度升高不断上升；NAT 的释放量先随温度升高而增加，达到 240 °C 后基本稳定。

此外，从图 4 可见，甘油含量对 TSNA_s 的释放也有较为明显的影响，尤其是对 NNK 与 NNN 释放的影响非常显著。在相同的试验条件下，样品 C 的 NNK 与 NNN 释放量基本低于 A 与 B，210 °C 以上时，样品 C 的 NNN 释放量则显著低于其他两种样品，NAB 和 NAT 的释放也呈现出相似的趋势。



注：图中数据为扣除水分、甘油的干基烟草薄片颗粒的 TSNAs 释放量。样品 A：甘油 0%，B：甘油 10%，C：甘油 30%。

Note: Data shown in the figure are the TSNAs release values of water and glycerol free dry RTPs materials. Glycerol content: A: 0, B: 10%, C: 30%.

图 4 温度、甘油含量对烟草薄片颗粒样品的 TSNAs 释放的影响

Fig. 4 Effect of Glycerin content and heating temperature on TSNAs release behavior of RTPs samples

2.3 NNN 与 NNK 释放关系的比较

比较表 2 中原料所含 TSNAs 的实测值与图 4 中测得的 TSNAs 的释放量可知, NNK 的释放量超过了其在原料中的含量, 而 NNN 则相反, 基于以上现象, 进行了以下试验。参照样品 C 中 NNN 的含量, 补加 NNN, 制备得到 NNN 含量约为原来 10 倍的样品 D, 考察 NNN 和 NNK 之间是否存在相互影响的可能。将样品 C、D 在加热温度为 180、240、300 °C 的条件下进行 TSNAs 释放量的测试, 并将原料中 NNK、NNN 含量 (表 2) 和气溶胶中的释放量 (表 3) 进行比较。

经计算, 240 °C 时, 样品 C 的 NNK 释放量相对于原料中的含量提高了约 24.3%, D 则增加了更多, 为 110.3%。因此, 样品中 NNN 含量增加引起了 NNK 释放量增加。

3 讨论

本研究重点关注了加热温度及甘油含量对 TSNAs 释放行为的影响。气溶胶中的 TSNAs 一部

表 3 样品 C、D 的 NNK 与 NNN 释放量

温度 Temperature/°C	NNK		NNN	
	C	D	C	D
180	39.5	89.1	71.3	978.5
240	106.6	181.7	116.7	1 100.9
300	136.9	186.3	86.3	750.7

分来源于烟草原料中含有的 TSNAs 的直接转移, 另一部分源于加热抽吸过程中由烟碱、去甲基烟碱等反应形成和释放^[19-21]。加热时, 原料中的 TSNAs 转移到气溶胶中, 随着加热温度升高, 迁移速率不断上升直至平衡, 同时, 由反应生成的 TSNAs 也不断增加, 因而气溶胶中 TSNAs 含量不断增加。当温度继续升高时, 反应过程变得更加复杂, 部分 TSNAs 呈现释放量稍有减少的现象。

甘油是一种烟草制品中常用的添加剂, 可作为保湿剂混入烟草制品中, 以降低制卷后水分损失的速度。它还可以作为主要的气溶胶剂, 帮助增加总气溶胶物质 (ACM), 在 HNB 产品中帮助携带尼古丁、香味和香气成分^[22]。此外, 根据前人分析, 甘

油还可能与烟草原料发生相互作用,影响气溶胶的成分^[23]。烟草原料中添加甘油后受热释放的 TSNA_s 减少,可能是由于加热温度较高时,甘油汽化吸热,带走了反应体系内的部分热量,使得相同的外部加热条件下,样品 C 的体系实际温度低于样品 A、B,从而 TSNA_s 的释放量也最低。

综上所述,样品中的甘油含量与加热温度均是 TSNA_s 释放过程中不可忽视的影响因素,相对较低的加热温度与适当比例的甘油均可以减少 TSNA_s 的释放。

原料中添加 NNN 引起 NNK 释放量增加可能是由下述原因导致:反应体系中,存在反应 $\text{NNK} \rightleftharpoons \text{烟碱} \rightleftharpoons \text{去甲基烟碱} \rightleftharpoons \text{NNN}$ ^[24-25],烟碱可反应生成 NNK,去甲基烟碱可反应生成 NNN^[19]。加热状态下,除直接从原料中迁移的 NNK 以外,其他途径生成 NNK 如烟碱生成 NNK 的反应速率增加,因此 NNK 的释放量增加。当样品中 NNN 添加之后,抑制了上述反应向右方进行而促进了其向左方进行,导致 NNK 的释放量增加。另外,也曾有文献报道,NNN 和 NNK 可能存在共同的热生成机理^[12],因此,NNN 与 NNK 的生成之间存在竞争关系,高温时,NNK 的生成具有优势,超越了 NNN 的生成,这也是该现象可能的原因之一。目前,仍无对 NNN 与 NNK 两者的生成之间是否存在关联的直接证据报道。

4 结 论

基于自主设计的一套捕集检测装置,探究了加热非燃烧状态下烟草原料的 TSNA_s 释放规律。研究表明,烟草薄片颗粒中的甘油含量、加热温度均是烟草薄片颗粒的 TSNA_s 释放行为的重要影响因素,样品中适量的甘油和低温加热均可有效降低 TSNA_s 的释放。因此,设计具有适量甘油的烟草原料、采用相对较低的加热温度的 HNB 产品可以减少用户的 TSNA_s 摄入。烟草原料中 NNN 含量增加可能促进气溶胶中 NNK 的释放量增加。

参考文献

[1] 张兴伟,邢丽敏,齐义良,等. 新型烟草制品未来发展探讨[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 110-116.

- ZHANG X W, XING L M, QI Y L, et al. Discussion on the development of novel tobacco products[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(4): 110-116.
- [2] 窦玉青,沈轶,杨举田,等. 新型烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 92-97.
- DOU Y Q, SHEN Y, YANG J T, et al. The development and prospect of novel tobacco products[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 92-97.
- [3] 刘秀华,钟志京,谢云,等. 烟丝热解气体产物中有机物的分析[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(6): 13-16.
- LIU X H, ZHONG Z J, XIE Y, et al. Analysis of organic components in gaseous pyrolysis products of cut rags. Chinese Tobacco Science, 2007, 28(6): 13-16.
- [4] LU X L. Harmful and potentially harmful constituents in tobacco products and tobacco smoke; established list[J]. Federal Register, 2012, 77(64): 20034-20037.
- [5] HECHT S S. Biochemistry, biology, and carcinogenicity of tobacco-specific n-nitrosamines[J]. Chemical Research in Toxicology, 1998, 11(6): 559-603.
- [6] IARC Monographs. Tobacco Smoke and Involuntary Smoking[M]//IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon: IARC Press, 2004.
- [7] HECHT S S, HOFFMANN D. Tobacco-specific nitrosamines, an important group of carcinogens in tobacco and tobacco smoke[J]. Carcinogenesis, 1988, 9(6): 875-884.
- [8] BHIDE S V, NAIR J, MARU G B. Tobacco-specific N-nitrosamines [TSNA] in green mature and processed tobacco leaves from India[J]. Beiträge Zur Tabakforschung, 2015, 14(1): 29-32.
- [9] DING Y S, ZHANG L, JAIN N, et al. Levels of tobacco-specific nitrosamines and polycyclic aromatic hydrocarbons in mainstream smoke from different tobacco varieties[J]. Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 2008, 17(12): 3366-3371.
- [10] BURTON H R, DYE N K, BUSH L P. Distribution of tobacco constituents in tobacco leaf tissue. 1. Tobacco-specific nitrosamines, nitrate, nitrite, and alkaloids[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1992, 40(6): 1050-1055.
- [11] LAW A D, FISHER C, JACK A, et al. Tobacco, microbes, and carcinogens: correlation between tobacco cure conditions, tobacco-specific nitrosamine content, and cured leaf microbial community[J]. Microbial Ecology, 2016, 72(1): 120-129.
- [12] LIPOWICZ P J, SEEMAN J I. A model to estimate the sources of tobacco specific nitrosamines in cigarette smoke[J]. Chemical Research in Toxicology, 2017, 30(8): 1556-1561.
- [13] 蒋腊梅,练文柳,丁时超,等. 卷烟侧流烟气中有毒醛酮类化合物的分析[J]. 烟草科技, 2012(1): 47-51.
- JIANG L M, LIAN W L, DING S C, et al. Analysis of harmful aldehyde and ketone compounds in sidestream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology,

- 2012(1): 47-51.
- [14] 李宗平, 覃光炯, 陈茂胜, 等. 不同栽培方式对白肋烟烟碱转化率及 TSNA 含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(6): 62-67.
- LI Z P, QIN G J, CHEN M S, et al. Influence of different cultivation methods on nicotine conversion and TSNA content of burley tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(6): 62-67.
- [15] 熊巍, 陶晓秋, 韶济民, 等. Dis-SPE-UPLC-MS/MS 测定卷烟主流烟气中 4 种 TSNA_s[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(4): 87-93.
- XIONG W, TAO X Q, SHAO J M, et al. Determination of four tobacco-specific N-nitrosamines in tobacco mainstream smoke by dispersive solid phase extraction-UPLC-MS/MS[J]. Chinese Tobacco Science, 2018, 39(4): 87-93.
- [16] SENNECA O, CHIRONE R, SALATINO P, et al. Patterns and kinetics of pyrolysis of tobacco under inert and oxidative conditions[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2007, 79(1): 227-233.
- [17] GÓMEZ-SIURANA A, MARCILLA A, BELTRAN M, et al. Study of the oxidative pyrolysis of tobacco-sorbitol-saccharose mixtures in the presence of MCM-41[J]. ThermochemicaActa, 2012, 530(1): 87-94.
- [18] 董保云, 张晓宇, 孔俊, 等. 烤烟烟叶叶片及其烟梗的热分解过程和动力学[J]. 烟草科技, 2013(12): 54-58.
- TONG B Y, ZHANG X Y, KONG J, et al. Comparison of pyrolysis process and kinetics between tobacco lamina and stem with thermogravimetric analysis[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(12): 54-58.
- [19] 谢剑平. 卷烟危害性评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- XIE J P. Principles and methods of evaluation of cigarette hazard[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [20] FISCHER S, SPIEGELHALDER B, EISENBARTH J, et al. Investigations on the origin of tobacco-specific nitrosamines in mainstream smoke of cigarettes[J]. Carcinogenesis, 1990, 11(5): 723-730.
- [21] ADAMS J D, LEE S J, VINCHKOSKI N, et al. On the formation of the tobacco-specific carcinogen 4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone during smoking[J]. Cancer Letters, 1983, 17(3): 339-346.
- [22] GÓMEZ-SIURANA A, MARCILLA A, BELTRÁN M, et al. TGA/FTIR study of tobacco and glycerol-tobacco mixtures[J]. ThermochemicaActa, 2013, 573: 146-157.
- [23] BAKER R R, DA SILVA J R P, SMITH G. The effect of tobacco ingredients on smoke chemistry. Part II: casing ingredients[J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, 42: 39-52.
- [24] 史志宏, BUSH L P, WANG J, 等. 我国不同类型烟叶烟碱向降烟碱转化研究[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(4): 6-9.
- SHI Z H, BUSH L P, WANG J, et al. Conversion of nicotine to normicotine in Chinese tobacco of different types[J]. Chinese Tobacco Science, 2001, 22(4): 6-9.
- [25] TSOTC. Physiology and biochemistry of tobacco plants[M]. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1972.

《烟草科技》2019年第2期目次

烟草 <i>KNOX</i> 基因家族的结构与表达模式分析.....	刘向真, 王根发, 金立锋, 等	1
秸秆还田和腐熟有机肥对植烟土壤养分、酶活性及微生物多样性的影响.....	樊俊, 谭军, 王瑞, 等	12
烟草野火病菌噬菌体的分离及盆栽防治试验.....	孙宏伟, 李慧, 刘瑞清, 等	19
摘除不适用叶与喷施光碳核肥对烤烟上部叶生理代谢及品质的影响.....	刘领, 李冬, 申洪涛, 等	25
施用改良剂对植烟土壤酶活性和养分含量的影响.....	邓小华, 杨哲宇, 李玉辉, 等	33
电子烟用金属件中重金属的迁移.....	樊美娟, 王洪波, 赵乐, 等	40
滤嘴参数对细支烟主流烟气 pH 和感官质量的影响.....	楚文娟, 田海英, 李耀光, 等	47
pH 敏感型荧光纳米胶束用于烟用纸张中大肠杆菌的快速检测.....	范子彦, 师默闻, 刘珊珊, 等	56
加热不燃烧卷烟烟气主要成分的逐口释放行为.....	龚淑果, 刘巍, 黄平等	62
电子烟烟液及其主要化学成分的体外细胞毒性评价.....	陈欢, 韩书磊, 张森, 等	72
响应面法优化分子蒸馏提纯烟梗浸膏的工艺.....	冀唯妮, 余其昌, 黄菲, 等	79
切丝宽度对卷烟主流烟气气溶胶粒径分布的影响.....	司晓喜, 朱瑞芝, 杨建云, 等	88
造纸法再造烟叶表面黏附力检测方法的建立及验证.....	胡梦岩, 宋成剑, 李德贵, 等	96
基于 GA-SVM 算法的烤烟香型自动识别研究.....	邱昌桂, 孔兰芬, 杨式华, 等	101
基于 SOM 神经网络的制丝生产线设备故障趋势辨识方法.....	雷建生, 李再, 冉宝新, 等	109
MAX1-8 接装机最后切割装置的改进.....	王己锋, 黄建龙, 饶伟, 等	115